

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005年12月8日 (08.12.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/117215 A1(51) 国際特許分類⁷:

H01S 3/10

(72) 発明者; および

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2004/007555

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 鈴木 巨生 (SUZUKI, Naoki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 中川 潤一 (NAKAGAWA, Junichi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(22) 国際出願日:

2004年5月26日 (26.05.2004)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

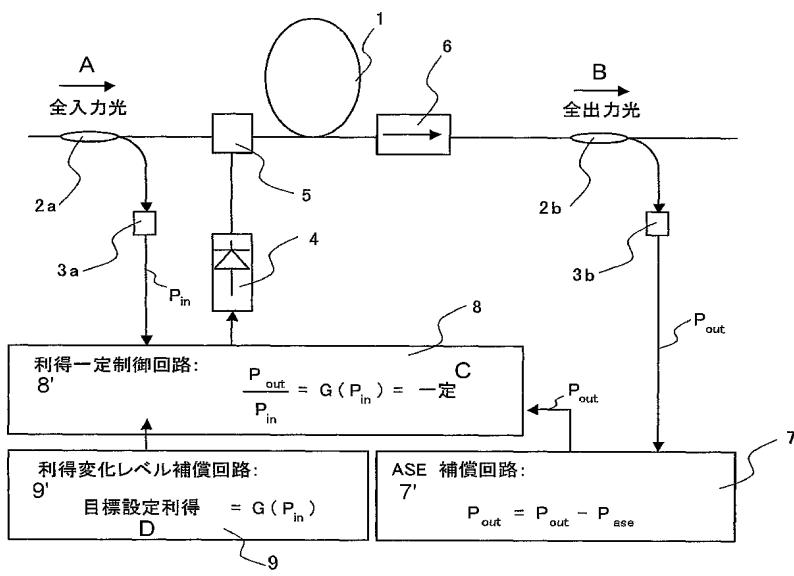
(74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1006019 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

/ 続葉有 /

(54) Title: OPTICAL AMPLIFIER AND ITS GAIN CONTROLLING METHOD

(54) 発明の名称: 光増幅器およびその利得制御方法



A. ENTIRE INPUT LIGHT

B. ENTIRE OUTPUT LIGHT

8'. GAIN CONSTANT CONTROL CIRCUIT:

C. CONSTANT

9'. GAIN VARIATION LEVEL COMPENSATION CIRCUIT:

D. TARGET SET GAIN

7'. ASE COMPENSATION CIRCUIT

力光をモニタした入力モニタ信号を出力する入力モニタ手段 (2a, 3a) と、全出力光をモニタした出力モニタ信号を出

(57) Abstract: An optical amplifier comprising input monitor means (2a, 3a) for outputting an input monitor signal obtained by monitoring the input light entirely using a rare earth element doped fiber (1) as an amplification medium, output monitor means (2b, 3b) for outputting an output monitor signal obtained by monitoring the output light entirely. The optical amplifier is further provided with an ASE compensation circuit (7) for compensating the spontaneous emission light (ASE) component included in the entire output light monitor signal, a gain variation level compensation circuit (9) for calculating a target average set gain determined dependent on the intensity of the input monitor signal, and a gain constant control circuit (8) performing gain control based on an output signal from the ASE compensation circuit (7) and a target average set gain outputted from the gain variation level compensation circuit (9).

(57) 要約: 希土類ドープファイバ (1) を増幅媒体とし、全入

/ 続葉有 /

WO 2005/117215 A1



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

力する出力モニタ手段(2b, 3b)と、を備えた光増幅器において、前記全出力光モニタ信号に含まれる自然放光(ASE)成分を補償するASE補償回路(7)と、前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得を算出する利得変化レベル補償回路(9)と、ASE補償回路(7)から出力される出力信号と利得変化レベル補償回路(9)から出力される目標平均設定利得とにに基づいて利得制御を行う利得一定制御回路(8)とを備える。

明細書

光増幅器およびその利得制御方法

5 技術分野

この発明は、光増幅器およびその利得制御方法に関するものであり、詳細には、利得制御誤差を改善した光増幅器および利得制御誤差を改善する光増幅器の利得制御方法に関するものである。

10 背景技術

WDM伝送システムに適用される光増幅中継器としては、希土類元素がドープされた光ファイバ（以下「希土類ドープファイバ」と呼称）を増幅媒体とする光増幅器が一般的に用いられる。この希土類ドープファイバを用いた光増幅器は増幅帯域内の光信号を光信号のまま一括増幅可能な増幅器であり、その簡便性がWDM技術を活性化させる大きな牽引役となっている。

ところで、WDM伝送システムにおける光増幅器には、伝送品質を保持するめに、増幅帯域の全域にわたって各信号光波長レベルをほぼ一定に増幅させる増幅利得の平坦性が求められる。しかしながら、上述のような光増幅器は、信号波長の変化や伝送路損失の変動などにより、光増幅器に入力される入力信号光強度が変化すると光増幅器における利得プロファイル変化に起因して伝送システム中の最適信号レベルダイヤが崩れてしまうので、信号強度対雑音強度比（S/N比）の低下、あるいは伝送路ファイバの非線形性の影響などにより伝送システムの品質を著しく劣化させてしまう。

このような伝送システムの品質劣化を抑制する技術として、光増幅器の利得を入力信号波数（強度）に関らず一定に制御する利得一定制御技術が開示されている（例えば、特許文献1など）。

かかる特許文献1に開示された利得一定制御技術は、前方励起の希土類ドープ

5 ファイバが用いられる光増幅器において、入力信号光強度 (P_{in}) および出力信号光強度 (P_{out}) から利得を検出する際に、希土類ドープファイバで発生する自然放出光強度 (ASE : Amplified Spontaneous emission) に対応する定数値 ($\neq 0$) として P_{ASE} が入力され、 (P_{out}
- P_{ASE}) / P_{in} を利得とし、この利得が一定になるように前方励起光パワーを制御するようにしている。すなわち、従来の光増幅制御技術は、光増幅器全出力光に含まれる自然放出光強度を定数として利得一定制御における誤差補償を行っていた。

特許文献 1

10 特開平 11-112434 号公報 (P 8, 第 1 図)

しかしながら、上述の補償技術 (利得一定制御技術) は、希土類ドープファイバを理想的な均一特性を持つものと仮定しており、希土類ドープファイバにおける不均一性に起因する利得プロファイル変化成分を補償することができなかつた。15 したがって、入力信号光レベル、波長数および波長変化に伴って発生する利得プロファイル変化が制御誤差となり、光増幅器における利得平坦性を保持するための入力信号光ダイナミックレンジが狭まるといった問題点があつた。また、不均一性に起因する利得プロファイル変化が顕著に現れるような一部の希土類ドープファイバに適用できないという問題点があつた。

20 本発明は、上述のような状況に鑑みてなされたものであり、光増幅器の不均一性に起因する利得プロファイル変化を補償する光増幅器を提供することを第 1 の目的とする。また、光増幅器の不均一性に起因する利得プロファイル変化を補償するための利得制御方法を開示し、その可変利得制御方法を簡易、かつ高精度に構成することを第 2 の目的とする。

25

発明の開示

この発明にかかる光増幅器にあっては、希土類ドープファイバを増幅媒体とし、

全入力光をモニタした入力モニタ信号を出力する入力モニタ手段と、全出力光をモニタした出力モニタ信号を出力する出力モニタ手段と、を備えた光増幅器において、前記全出力光モニタ信号に含まれる自然放出光（A S E）成分を補償する A S E 補償回路と、前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得を算出する利得変化レベル補償回路と、前記A S E 補償回路から出力される出力信号と前記利得変化レベル補償回路から出力される前記目標平均設定利得とに基づいて利得制御を行う利得一定制御回路と、を備えたことを特徴とする。

この発明によれば、希土類ドープファイバを増幅媒体とする光増幅器において、全出力光モニタ信号に含まれる自然放出光（A S E）成分を補償するための信号と、入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得とに基づいて光入力の信号強度ごとに利得一定制御が行われる。

図面の簡単な説明

第 1 図は、この発明の実施の形態 1 にかかる光増幅器の利得制御機能を説明するための機能構成図であり、第 2 図は、利得変化レベル補償回路 9 の目標平均設定利得 G (P_{in}) の設定手順を示すフローチャートであり、第 3 図は、第 2 図に示す設定手順の中の最大入力強度における目標平均設定利得 (G_M) の算出処理を示すフローチャートであり、第 4 図は、第 2 図に示す設定手順の中の最小入力強度における目標平均設定利得 (G_m) の算出処理を示すフローチャートであり、第 5 図は、第 2 図に示す設定手順中の各入力強度における目標平均設定利得 (G_{in}) の算出処理を示すフローチャートであり、第 6 図は、実施の形態 1 の光増幅器出力スペクトル特性を従来技術と比較した図であり、第 7 図は、この発明の実施の形態 2 にかかる光増幅器の回路構成を示す図であり、第 8 図は、この発明の実施の形態 3 にかかる光増幅器の回路構成を示す図であり、第 9 図は、この発明の実施の形態 4 にかかる光増幅器の利得変化レベル補償回路の回路構成を示す図であり、第 10 図は、実施の形態 4 の光増幅器出力スペクトル特性を従

来技術と比較した図であり、第11図は、この発明の実施の形態5にかかる光増幅器の利得変化レベル補償回路の回路構成を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

5 以下に添付図面を参照して、本発明にかかる光増幅器およびその利得制御方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態により本発明が限定されるものではない。

実施の形態1.

第1図は、この発明の実施の形態1にかかる光増幅器の利得制御機能を説明するための機能構成図である。同図において、励起光源合波器5を介して励起光源4からの前方励起光が入力される希土類ドープファイバ1が備えられている。一方、光増幅器の利得制御機能を構成する構成部として、ASE補償回路7、利得一定制御回路8および利得変化レベル補償回路9が備えられている。利得一定制御回路8は、希土類ドープファイバ1の入力段に備えられた光分波器2aに接続された光レベル検出器3aと、利得変化レベル補償回路9と、ASE補償回路7と、励起光源4とに接続される。なお、利得一定制御回路8は、光レベル検出器3a、利得変化レベル補償回路9およびASE補償回路7からの出力を受信し、励起光源4に対して所定の信号を出力する。また、ASE補償回路7は、希土類ドープファイバ1の出力段に備えられた光分波器2bに接続された光レベル検出器3bに接続され、光レベル検出器3bからの出力を受信する。

つぎに、第1図に示す光増幅器の動作について説明する。第1図において、入力された入力信号光（全入力光）の一部は光分岐器2aによって分岐され、光レベル検出器3aにて入力信号光強度が検出され、電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号に変換される。一方、励起光源4からの励起光は励起光源合波器5にて入力信号光とともに希土類ドープファイバ1内に入力され、入力信号光は増幅される。増幅された出力信号光（全出力光）の一部は光分岐器2bによって分岐され、光レベル検出器3bにより出力信号光強度が検出され、電気信号レベ

ル P_{out} の全出力光電気信号に変換される。

また、電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号は利得一定制御回路 8 に入力され、電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号は ASE 補償回路 7 に入力される。 ASE 補償回路 7 に入力された電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号は、
5 P_{out} に含まれる ASE 光電気信号レベル P_{ase} を減算した、 $P_{out}' = P_{out} - P_{ase}$ として変換された後、利得一定制御回路 8 に入力される。利得一定制御回路 8 に入力された電気信号レベル P_{in} および P_{out}' の各信号は、 P_{out}' / P_{in} で定義されるレベル比が、利得変化レベル補償回路 9 によって付与される入力信号強度に依存した目標平均設定利得 G (P_{in}) となるように励起光源 4 に
10 対して帰還制御がかけられる。

以上の動作により、入力信号レベルに依存して目標平均設定利得が可変設定され、一定の入力信号光レベルにおいて、目標平均設定利得 G (P_{in}) として一定制御される光増幅器を構成することができる。このように、この実施の形態の光増幅器では、従来技術のように自然放出光強度を定数として利得一定制御における誤差補償を行うような制御手法とは異なり、自然放出光強度成分を補償した後に、入力信号光レベルに応じて利得一定制御を行うようにしているので、光増幅器の不均一性に起因する利得プロファイル変化の補償が可能となる。

ところで、自然放出光強度を定数として利得一定制御における誤差補償を行うような従来技術にかかる制御手法では、不均一性に起因する利得プロファイル変化が顕著な一部の希土類ドープファイバなどに適用できることについては上述したとおりである。つぎに、このような問題点が生じる理由について説明する。

通常、希土類ドープファイバが均一な特性を持つと仮定すると、増幅媒質中の信号光強度 I_s と ASE 光強度 I_{ASE} の伝搬式は次のように表される。

$$\frac{dI_s}{dz} = (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) I_s \quad \dots \dots \quad (1)$$

$$\frac{dI_{ASE}}{dz} = (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) I_{ASE} + 2h\nu\sigma_s N_2 \Delta\nu$$

25 ここで、 z は増幅媒体を伝搬する光信号の進行方向の位置、 N_2 、 N_1 はそれ

ぞれ増幅準位の上準位、下準位の密度、 σ_s 、 σ_a はそれぞれ信号光およびA S E光の波長における増幅媒体の誘導放出断面積と誘導吸収断面積、 ν と $\Delta\nu$ はそれぞれA S E光の中心周波数広がりを示す。またA S E光の伝搬を表す式の土はそれぞれ順方向A S E光および逆方向A S E光を表す。

5 式（1）が示すように、 I_{ASE} は I_s と同様の増幅を表す部分に、光増幅器内部で分布的に発生する自然放出光を示す $h\nu\sigma_sN_2\Delta\nu$ の項が加わっている。このことは、増幅器利得と出力A S E光強度は独立に決定される訳ではなく、所定の信号利得一定条件のもとでも、入力信号レベルに従ってA S E光強度を定数として扱うことができないことを示している。

10 しかし、同時に出力A S E光強度がほとんど反転分布の分布に依存しないような条件であれば、出力A S E光強度を一定値として扱うことが可能である。すなわち、光増幅器内部で分布的に発生する自然放出光が無視できるとして式（1）の微分方程式をそれぞれ解くと次式のようになる。

$$I_s(L) = I_s(0) \exp \left[\int_0^L (\sigma_e N_2 - \sigma_a N_1) dz \right] \quad \dots \dots \quad (2)$$

$$I_{ase}(L) = I_{ase}(0) \exp \left[\int_0^L (\sigma_e N_2 - \sigma_a N_1) dz \right]$$

15 ここで $I_s(L)$ および $I_{ase}(L)$ は希土類ドープファイバ出力端での強度を表している。

このような近似は、希土類ドープファイバの信号光入力側の反転分布を高く保つことで成り立つと考えられる。それは、信号光入力端近傍での利得が高ければ、出力A S E光強度のほとんどが、信号光入力端付近で発生したA S E光が希土類ドープファイバを通過して増幅される成分で占められるためである。このような条件を満たす光増幅器においては、利得一定であるならばA S E光強度を一定値と見なせ、このような場合には、全出力光に含まれるA S E光成分を一定値として差し引くことで、広ダイナミックレンジ下で信号利得を一定に制御することが可能となる。

しかしながら、式（2）は希土類ドープファイバが均一な特性を持つと仮定した式であり、実際には希土類ドープファイバにおける不均一性により、増幅器利得が同一な場合でも、入力信号光レベル、波長数および波長変化によって、さらに信号利得は変化する。すなわち、実際の希土類ドープファイバを増幅媒体とした光増幅器においては、出力端での信号パワーは次式のようになる。

$$Is(L) = Is(0) \exp \left[\int_0^L (\sigma_e N_2 - \sigma_a N_1) dz \right] + \int_{\lambda} \Delta Is(Is, \lambda, L) d\lambda \quad \dots \quad (3)$$

ここで、右辺第1項は均一特性を仮定した場合の出力信号レベルを表し、第2項は希土類ドープファイバの不均一性に起因する出力レベル変化量であり、入力信号光レベルおよび波長に依存する。式（3）から理解されるように、ASE光成分が一定レベルとして補償可能な場合でも、第2項に対応する利得の不整合が発生し、利得一定制御における制御誤差が発生する。

つぎに、利得変化レベル補償回路9の目標平均設定利得G_{i_n}（P_{i_n}）の設定手順について第2図～第5図を用いて説明する。なお、第2図は、利得変化レベル補償回路9の目標平均設定利得G_{i_n}（P_{i_n}）の設定手順を示すフローチャートであり、第3図は、第2図に示す設定手順の中の最大入力強度における目標平均設定利得（G_M）の算出処理を示すフローチャートであり、第4図は、第2図に示す設定手順の中の最小入力強度における目標平均設定利得（G_m）の算出処理を示すフローチャートであり、第5図は、第2図に示す設定手順中の各入力強度における目標平均設定利得（G_{i_n}）の算出処理を示すフローチャートである。

まず、第2図の目標平均設定利得G_{i_n}（P_{i_n}）の設定手順について説明する。同図において、入力ダイナミックレンジの最大入力強度における目標平均設定利得（G_M）が算出される（ステップS101）。つぎに、光増幅器の利得がステップS101の処理で算出されたG_Mに設定されるように制御され（ステップS102）、この状態において、入力ダイナミックレンジの最小入力強度における目標平均設定利得（G_m）が算出される（ステップS103）。さらに、光増幅器の利得が、最大入力強度のときはステップS101の処理で算出されたG_Mに

設定され、最小入力強度のときはステップS103の処理で算出された G_m に設定されるように制御され（ステップS104）、この状態において、入力ダイナミックレンジ内の各入力強度における目標平均設定利得 [$G(P_{in})$] が算出される（ステップS105）。

5 つぎに、第3図に示す最大入力強度における目標平均設定利得 (G_M) の算出処理の細部手順について説明する。同図において、光増幅器の増幅帯域内で、入力ダイナミックレンジの最大入力強度における所定の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (n は自然数) ごとの利得 $G(\lambda_1, P_{in_max}), G(\lambda_2, P_{in_max}), \dots, G(\lambda_n, P_{in_max})$ が測定され（ステップS201）、全波長における利得 $G(\lambda)$ の平均値が算出され（ステップS202）、第2図のフローに戻る。

同様に、第4図に示す最小入力強度における目標平均設定利得 (G_m) の算出処理では、所定の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (n は自然数) ごとに、光増幅器の増幅帯域内で、入力ダイナミックレンジの最小入力強度における利得 $G(\lambda_1, P_{in_min}), G(\lambda_2, P_{in_min}), \dots, G(\lambda_n, P_{in_min})$ が測定され（ステップS301）、各測定波長ごとの利得プロファイル変化量、すなわち、各測定波長における最大入力強度における利得 $G(\lambda_1, P_{in_max})$ と、最小入力強度における利得との差分値である、 $\Delta G_{\lambda_1} = G(\lambda_1, P_{in_max}) - G(\lambda_1, P_{in_min})$ 、 $\Delta G_{\lambda_2} = G(\lambda_2, P_{in_max}) - G(\lambda_2, P_{in_min})$ 、 $\dots, \Delta G_{\lambda_n} = G(\lambda_n, P_{in_max}) - G(\lambda_n, P_{in_min})$ が算出され（ステップS302）、これらの $\Delta G_{\lambda_1}, \Delta G_{\lambda_2}, \dots, \Delta G_{\lambda_n}$ の中の最大値 ΔG_{max} が選択され（ステップS303）、最小入力強度における目標平均設定利得 (G_m) が $G_m = G_M + \Delta G_{max}$ の算出式にて算出され（ステップS304）、第2図のフローに戻る。

25 同様に、第5図に示す各入力強度における目標平均設定利得 $G(P_{in})$ の算出処理では、所定の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (n は自然数) ごとに、入力ダイナミックレンジ範囲内の各入力強度における利得 $G(\lambda_1, P_{in_1}), G(\lambda_2, P_{in_1}), \dots, G(\lambda_n, P_{in_1})$ が算出され（ステップS401）、各測定波長ごとの利得プロファイル変化量、すなわち、各測定波長における最大入力強度における利得 $G(\lambda_1, P_{in_max})$ と、最小入力強度における利得との差分値である、 $\Delta G_{\lambda_1} = G(\lambda_1, P_{in_max}) - G(\lambda_1, P_{in_1})$ 、 $\Delta G_{\lambda_2} = G(\lambda_2, P_{in_max}) - G(\lambda_2, P_{in_1})$ 、 $\dots, \Delta G_{\lambda_n} = G(\lambda_n, P_{in_max}) - G(\lambda_n, P_{in_1})$ が算出され（ステップS402）、これらの $\Delta G_{\lambda_1}, \Delta G_{\lambda_2}, \dots, \Delta G_{\lambda_n}$ の中の最大値 ΔG_{max} が選択され（ステップS403）、各入力強度における目標平均設定利得 $G(P_{in})$ が $G(P_{in}) = G_m + \Delta G_{max}$ の算出式にて算出され（ステップS404）、第2図のフローに戻る。

$\lambda_2, P_{in_1}, \dots, \lambda_n, P_{in_1}$ が測定され (ステップ S 401) 、各測定波長ごとの利得プロファイル変化量、すなわち、各測定波長における最大入力強度における利得 $G(\lambda_1, P_{in_max})$ と、各入力強度における利得との差分値である、 $\Delta G_{\lambda_1, P_1} = G(\lambda_1, P_{in_1}) - G(\lambda_1, P_{in_1})$, $\Delta G_{\lambda_2, P_1} = G(\lambda_2, P_{in_1}) - G(\lambda_2, P_{in_1})$, $\dots, \Delta G_{\lambda_n, P_1} = G(\lambda_n, P_{in_1}) - G(\lambda_n, P_{in_1})$ が算出され (ステップ S 402) 、これらの $\Delta G_{\lambda_1, P_1}, \Delta G_{\lambda_2, P_1}, \dots, \Delta G_{\lambda_n, P_1}$ の中の最小値 ΔG_{min} が選択され (ステップ S 403) 、各入力強度における目標平均設定利得 $G(P_{in})$ として、 $\Delta G_{\lambda P}$ の最小値を与える $G(\lambda, P_{in})$ が選択される (ステップ S 404)。

ステップ S 404 の処理後、測定終了か否かが判定され (ステップ S 405) 、他の入力強度での測定が必要ならば (ステップ S 405、Yes) 他の入力強度に設定され (ステップ S 406) 、ステップ S 401～405 の処理が繰り返される。一方、他の入力強度での測定が不要ならば (ステップ S 405、No) 、第2図のフローに戻る。

なお、上記第2図～第5図において示したフローにて生成された各入力強度における目標平均設定利得は、利得一定制御回路 8 または利得変化レベル補償回路 9 などに備えられる記憶領域に出力利得プロファイルとして記憶されることにより、光入力の光強度情報に基づいて上記利得一定制御を迅速に行うことができる。

第6図は、実施の形態1の光増幅器出力スペクトル特性を従来技術と比較した図である。同図において、波形 K1 は従来の利得一定制御を行った場合の出力特性であり、波形 K2 は利得変化レベル補償回路 9 による上述の制御手順を用いた場合の出力特性である。同図に示すように、従来技術での利得一定制御では 0.7 dB 程度の制御誤差が生じていたが、この実施の形態の利得一定制御では 0.3 dB 程度の制御誤差しか生じておらず、広い入力ダイナミックレンジにおいて良好な利得平坦性が確保されていることが明らかである。

以上説明したように、この実施の形態の光増幅器によれば、全出力光モニタ信号に含まれる自然放出光 (ASE) 成分を補償するための補償信号と、入力モニ

タ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得に基づいて光入力の信号強度ごとに利得一定制御を行うよう正在しているので、広ダイナミックレンジ特性に優れた光増幅器およびその利得制御方法を得ることができる。

なお、この実施の形態では、希土類ドープファイバ1に対して励起光源4からの前方励起光が入力されるものとして説明したが、入力される励起光は前方励起光に限定されるものではなく、式(2)に示されるような、入力全信号光強度のダイナミックレンジにおいて、出力ASE強度を定数として扱うことが成り立つ条件を満たす範囲において、双方向励起および後方励起といった励起方式であっても構わない。

また、励起光源4は、波長安定化手段を具備した半導体レーザによって構成されていてもよく、この場合には、希土類ドープファイバ1に注入される励起光源波長が安定化されるので、さらに良好な利得平坦性を確保することができる。

なお、希土類ドープファイバのガラスホスト材料としては、酸化ケイ素、酸化テルライト、酸化ビスマスなどが一般的に用いられるが、これらのファイバなどを用いた場合であっても、上述した効果が得られる。

さらに、一般的に使用される光通信システムにおける伝送帯域であるC-バンド帯域(1530nm～1560nm)に加え、L-バンド帯域(1570nm～1610nm)、拡大L-バンド帯域(1570nm～1620nm)および一括帯域(1530nm～1620nm)といった各伝送帯域に対応する光増幅器それぞれにおいて、上述した効果が得られる。

実施の形態2.

第7図は、この発明の実施の形態2にかかる光増幅器の回路構成を示す図である。実施の形態1では、従来の利得一定制御方法と異なり、ASE補償回路7、利得一定制御回路8および利得変化レベル補償回路9により入力信号レベルに依存する目標平均設定利得G(P_{in})を付与するよう正在しているが、第7図に示す実施の形態2では、これらの機能を簡易に実現する構成部としてASE補償回路21、利得変化レベル補償回路22および利得一定制御回路23を備えている。

なお、第1図と同一、あるいは同等な部分については、同一の符号を用いて示している。

つぎに、第7図に示す光増幅器の動作について説明する。同図において、入力された入力信号光の一部は光分岐器2aによって分岐され、光レベル検出器3aにより入力信号光強度が検出され、電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号に変換される。励起光源4からの励起光は励起光源合波器5により入力信号光とともに希土類ドープファイバ1内に入力され、入力信号光は増幅される。増幅された出力信号光の一部は光分岐器2bによって分岐され、光レベル検出器3bにより出力信号光強度が検出され、電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号に変換される。

また、電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号は利得一定制御回路23に入力される。一方、電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号はASE補償回路21に入力される。ASE補償回路21に入力された電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号は、 P_{out} に含まれるASE光電気信号レベル P_{ase} を減算した、 $P_{out}' = P_{out} - P_{ase}$ として変換された後、利得変化レベル補償回路22に入力される。利得変化レベル補償回路22により P_{out}' は、 $P_{out}'' = P_{out}' - (P_{ase} + P_{offset}(P_{in}))$ として変換された後、利得一定制御回路23に入力され、利得一定制御回路23により、 $P_{out}''/P_{in} = G(P_{in}) =$ 一定となるように制御される。

このとき、 P_{out}''/P_{in} の目標設定値が実施の形態1で説明したような手順で定められ、利得レベル補償回路22にて付与される電気信号レベル $P_{offset}(P_{in})$ の値を変化させることで入力強度変化に依存した目標平均設定利得値の可変機能を実現することができる。

また、第7図において、ASE補償回路21を省略して、利得変化レベル補償回路22により $P_{out}'' = P_{out}' - (P_{ase} + P_{offset}(P_{in}))$ の変換処理を同時に行ってもよい。

以上説明したように、この実施の形態の光増幅器によれば、入力モニタ信号の

信号強度に基づいて決定されるオフセット成分をA S E補償信号から減算した減算信号と入力モニタ信号との比が当該入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得に一致するような利得制御が行われるので、実施の形態1の効果に加え、光増幅器の利得制御機能を簡易に構成できるという効果を奏す。

5 る。

実施の形態3.

第8図は、この発明の実施の形態3にかかる光増幅器の回路構成を示す図である。実施の形態2では、出力電気信号レベルを $P''_{out} = P_{out} - (P_{ase} + P_{off_set} (P_{in}))$ として変換することで可変利得制御方法を達成するものであるが、第8図に示す実施の形態3では、入力電気信号レベルを変換することで、簡易に可変利得制御機能を実現する構成部としてA S E補償回路および利得変化レベル補償回路の機能を兼ね備えた入力レベル変換回路32と、利得一定制御回路33とを備えている。なお、第1図と同一、あるいは同等な部分については、同一の符号を用いて示している。

15 つぎに、第8図に示す光増幅器の動作について説明する。同図において、入力された入力信号光の一部は光分岐器2aによって分岐され、光レベル検出器電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号に変換される。励起光源4からの励起光は励起光源合波器5により入力信号光とともに希土類ドープファイバ1内に入力され、入力信号光は増幅される。増幅された出力信号光の一部は光分岐器2bによって分岐され、光レベル検出器3bにより出力信号光強度が検出され、電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号に変換される。

20 また、電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号は入力レベル変換回路32に入力される。入力レベル変換回路32に入力された電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号は、 $P_{in}' = P_{in} + P_{ase} + P_{in_off_set} (P_{in})$ として変換された後、利得一定制御回路33に入力される。一方、光レベル検出器3bから出力された電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号も利得一定制御回路33に入力され、利得一定制御回路33により、 $P_{out} / P_{in}' = G (P_{in}) = \text{一定}$ と

なるように制御される。

このとき、 P_{out}/P_{in} ’の目標設定値が実施の形態1で説明したような手順で定められ、 $P_{in_off_set}$ (P_{in}) の値を変化させることで入力強度変化に依存した目標平均設定利得値の可変機能を実現することができる。

5 以上説明したように、この実施の形態の光増幅器によれば、出力モニタ信号に含まれるA S E成分と、入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定されるオフセット成分とが入力モニタ信号から減算された減算信号が出力され、出力モニタ信号と前記減算信号との比が入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得に一致するような利得制御が行われるので、実施の形態1の効果に
10 加えて、簡易に可変利得制御機能を実現することができるという効果を奏する。

実施の形態4.

第9図は、この発明の実施の形態4にかかる光増幅器の利得変化レベル補償回路の回路構成を示す図である。実施の形態2および3では、入力信号強度に応じて異なる目標平均設定利得を設定する構成について示したが、第9図に示す実施
15 の形態4の利得変化レベル補償回路では、固定のプリセットレベルを利得変化レベル補償回路として用いることで簡易かつ高精度な可変利得一定制御機能を実現する構成部として、2系列の電気信号入力を持つ減算器41と、固定プリセットレベル設定器42とを備えている。

つぎに、第9図に示す光増幅器の動作について説明する。光レベル検出器3b
20 から出力された電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号が減算器11に入力される。一方、あらかじめ定数として設定された補償レベル設定器12からの利得補償レベル P_{comp} の電気信号も減算器41に入力され、減算器41によって、
 $P_{out}' = P_{out} - P_{comp}$ で表される出力補正レベルの電気信号に変換され、利得一定制御回路へ出力される。このとき、 P_{comp} は実施の形態1に示した目標
25 平均設定利得設定手順に基づいて、入力ダイナミックレンジの最小入力強度における目標平均設定利得となるように設定される。

第10図は、実施の形態4の光増幅器出力スペクトル特性を従来技術と比較し

た図である。同図において、波形 K 3 は従来の利得一定制御を行った場合の出力特性であり、波形 K 4 は利得変化レベル補償回路による上述の制御手段を用いた場合の出力特性である。同図に示すように、補償レベル設定器 1 2 からの補償レベル P_{comp} は一定の電気レベルを有するため、入力信号レベルの増大に従って 5 その寄与度が小さくなり、固定の電気信号レベルを与えるだけで、入力ダイナミックレンジにおいて最適な目標平均設定利得を提供することができる。なお、この実施の形態の利得変化レベル補償回路では、固定の電気信号レベルを与える程度の簡易な構成のため、例えば、減算器を汎用的なオペアンプとすれば、抵抗程度の分圧器といった簡便かつ安価な構成で実現できる。

10 なお、以上の構成は、一例として全出力光電気信号の出力レベルに対して所定の固定値を与える手法について示したが、全入力光電気信号の出力レベルに対して所定の固定値を与えるような手法でもよく、この場合であってもこの実施の形態と同様な構成で簡易な可変利得制御機能を実現できる。

15 以上説明したように、この実施の形態の光増幅器によれば、補償レベル設定器 にて一定レベルの利得補償信号が生成され、出力モニタ信号から当該利得補償信号を減算出力されるので、簡易な可変利得制御機能を実現することができる。

実施の形態 5.

20 第 1 1 図は、この発明の実施の形態 5 にかかる光増幅器の利得変化レベル補償回路の回路構成を示す図である。実施の形態 1 ～ 4 では、電気信号を用いて目標平均設定利得値を可変する構成について示したが、第 1 1 図に示す実施の形態 5 では、光レベルを利得プロファイル変化レベル補償として用いることで簡易かつ 25 高精度な可変利得一定制御機能を実現する構成部として、光分波器 2 a と光レベル検出器 3 a との間に挿入された光分波器 2 c に接続されたオフセット光源 5 1 と、利得一定制御回路 5 2 とを備えている。なお、第 1 図と同一、あるいは同等な部分については、同一の符号を用いて示している。

つぎに、第 1 1 図に示す光増幅器の動作について説明する。同図において、入力された入力信号光の一部は光分岐器 2 a によって分岐され、光合波器 2 c によ

りオフセット光源 5_1 と合波された後、光レベル検出器 3_a により入力信号光強度が検出され、電気信号レベル P_{in} の全入力光電気信号にオフセット光源 5_1 のオフセット成分が加算された、 $P_{in} + P_{opt_off_set}$ に変換される。一方、励起光源 4 からの励起光は励起光源合波器 5-5 により入力信号光とともに希土類ドープファイバ 1 内に入力され、入力信号光は増幅される。増幅された出力信号光の一部は光分岐器 2_b によって分岐され、光レベル検出器 3_b により出力信号光強度が検出され、電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号に変換される。

また、光レベル検出器 3_a から出力される信号レベル $P_{in}' = P_{in} + P_{opt_off_set}$ の電気信号と、電気信号レベル P_{out} の全出力光電気信号は利得一定制御回路 5_2 に入力される。利得一定制御回路 5_2 に入力された P_{in}' および P_{out} は、 P_{out}/P_{in}' で定義されるレベル比が、 $P_{out}/P_{in}' = G(P_{in})$ =一定となるように制御される。

以上の動作により、 $P_{opt_off_set}$ 成分を変化させることで、入力信号レベルに依存して、全入力光信号レベルに対する光利得を可変する構成が可能となり、入力強度変化に依存した目標平均設定利得値の可変機能を実現することができる。

以上説明したように、この実施の形態の光増幅器によれば、光レベル検出器の出力信号と出力モニタ信号との比が入力モニタ信号の光強度に基づいて決定される目標平均設定利得に一致するように利得制御が行われるので、入力強度変化に依存した目標平均設定利得値の可変機能を光信号段で制御することができる。

20

産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかる光増幅器は、光通信システムの光増幅中継器に適用することができ、特に、増幅媒体として用いられる希土類ドープファイバの種類に依存しない光増幅器として好適である。

25

請求の範囲

1. 希土類ドープファイバを増幅媒体とし、全入力光をモニタした入力モニタ信号を出力する入力モニタ手段と、全出力光をモニタした出力モニタ信号を出力する出力モニタ手段と、を備えた光増幅器において、

前記全出力光モニタ信号に含まれる自然放出光（A S E）成分を補償するA S E補償回路と、

前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得を算出する利得変化レベル補償回路と、

10 前記A S E補償回路から出力される出力信号と前記利得変化レベル補償回路から出力される前記目標平均設定利得とにに基づいて利得制御を行う利得一定制御回路と、

を備えたことを特徴とする光増幅器。

15 2. 前記利得一定制御回路または前記利得変化レベル補償回路には記憶領域が備えられ、

前記記憶領域に自身の利得制御を行う出力利得プロファイルが記憶されることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の光増幅器。

20 3. 前記出力利得プロファイルは、前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて当該信号強度ごとに生成されることを特徴とする請求の範囲第2項に記載の光増幅器。

25 4. 前記A S E補償回路は、前記出力モニタ信号から当該出力モニタ信号に含まれるA S E成分を減算したA S E補償信号を出力し、

前記利得変化レベル補償回路は、前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定されるオフセット成分を前記A S E補償信号から減算した減算信号を出力し、

前記利得一定制御回路は、前記減算信号と前記入力モニタ信号との比が当該入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得に一致するよう¹⁰に利得制御を行うことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の光増幅器。

5 5. 希土類ドープファイバを増幅媒体とし、全入力光をモニタした入力モニタ信号を出力する入力モニタ手段と、全出力光をモニタした出力モニタ信号を出力する出力モニタ手段を備えた光増幅器において、

前記出力モニタ信号に含まれるA S E成分と、前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定されるオフセット成分と、を当該入力モニタ信号から減算した減¹⁰算信号を出力する入力レベル変換回路と、

前記出力モニタ信号と前記減算信号との比が前記入力モニタ信号の信号強度に基づいて決定される目標平均設定利得に一致するよう¹⁵に利得制御を行う利得一定制御回路とを備えたことを特徴とする光増幅器。

15 6. 前記利得変化レベル補償回路は、

一定レベルの利得補償信号を生成する補償レベル設定器と、

前記出力モニタ信号から前記利得補償信号を減算出力する減算器と、

を備えたことを特徴とする請求の範囲第4項に記載の光増幅器。

20 7. 前記利得変化レベル補償回路は、

一定レベルの利得補償信号を生成する補償レベル設定器と、

前記入力モニタ信号から前記利得補償信号を減算出力する減算器と、

を備えたことを特徴とする請求の範囲第4項に記載の光増幅器。

25 8. 希土類ドープファイバを増幅媒体とし、全出力光をモニタした出力モニタ信号を出力する出力モニタ手段を備えた光増幅器において、

光オフセット信号を出力する光オフセット信号出力手段と、

前記全入力光と前記光オフセット信号とを合成する光合波器と、
前記光合波器の出力信号を電気信号に変換する光レベル検出器と、
前記光レベル検出器の出力信号と前記出力モニタ信号との比が前記入力モニタ
信号の光強度に基づいて決定される目標平均設定利得に一致するように利得制御
5 行うことを特徴とする光増幅器。

9. 前記希土類ドープファイバに対して前記全入力光の進行方向と同方向に励
起光を注入する前方励起型励起光源をさらに備えたことを特徴とする請求の範囲
第1項に記載の光増幅器。

10

10. 前記前方励起型励起光源は、波長安定化手段を具備した半導体レーザに
よって構成されていることを特徴とする請求の範囲第9項に記載の光増幅器。

15

11. 前記希土類ドープファイバのガラスホスト材料が、酸化ケイ素、酸化テ
ルライト、または酸化ビスマスであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載
の光増幅器。

12. 希土類ドープファイバを増幅媒体とする光増幅器の利得制御方法において、

20

自身に入力される光入力の入力ダイナミックレンジの最大入力強度における目
標平均設定利得 (G_M) を算出する第1の算出ステップと、

自身の利得を前記目標平均設定利得 (G_M) に設定する第1の利得設定ステッ
プと、

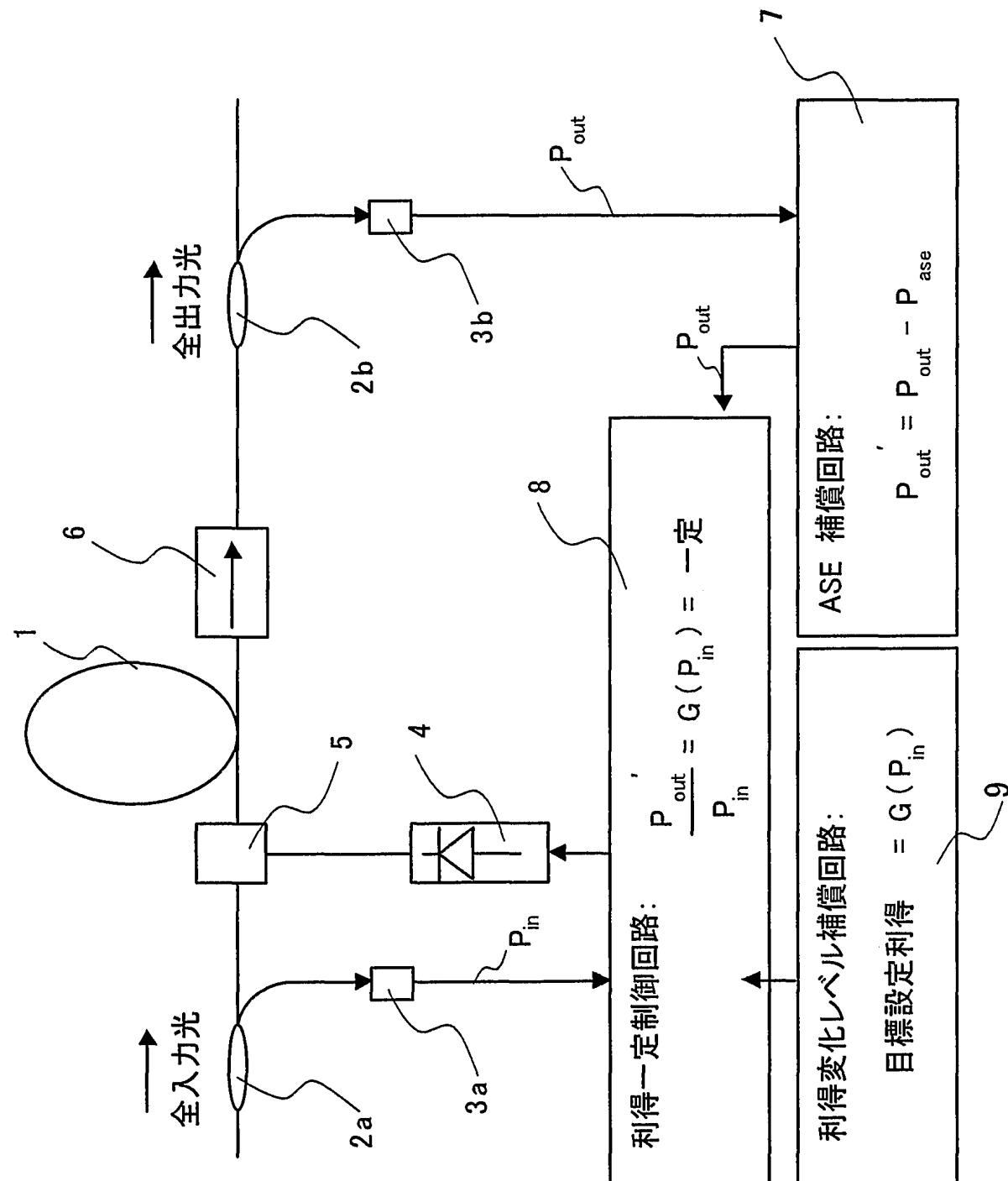
25

自身に入力される光入力の入力ダイナミックレンジの最小入力強度における目
標平均設定利得 (G_m) を算出する第2の算出ステップと、

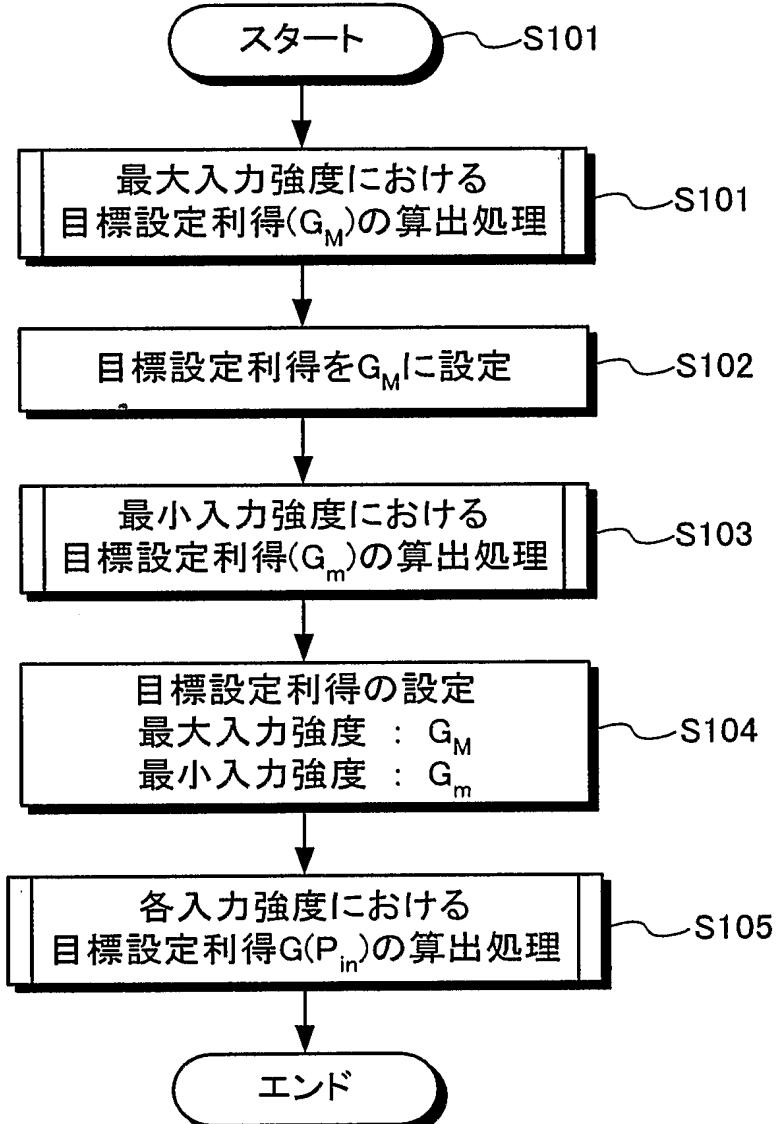
前記最大入力強度条件のときは自身の利得を前記目標平均設定利得 (G_M) に
設定し、前記最小入力強度条件のときは自身の利得を前記目標平均設定利得 (G

_m) に設定する第 2 の利得設定ステップと、

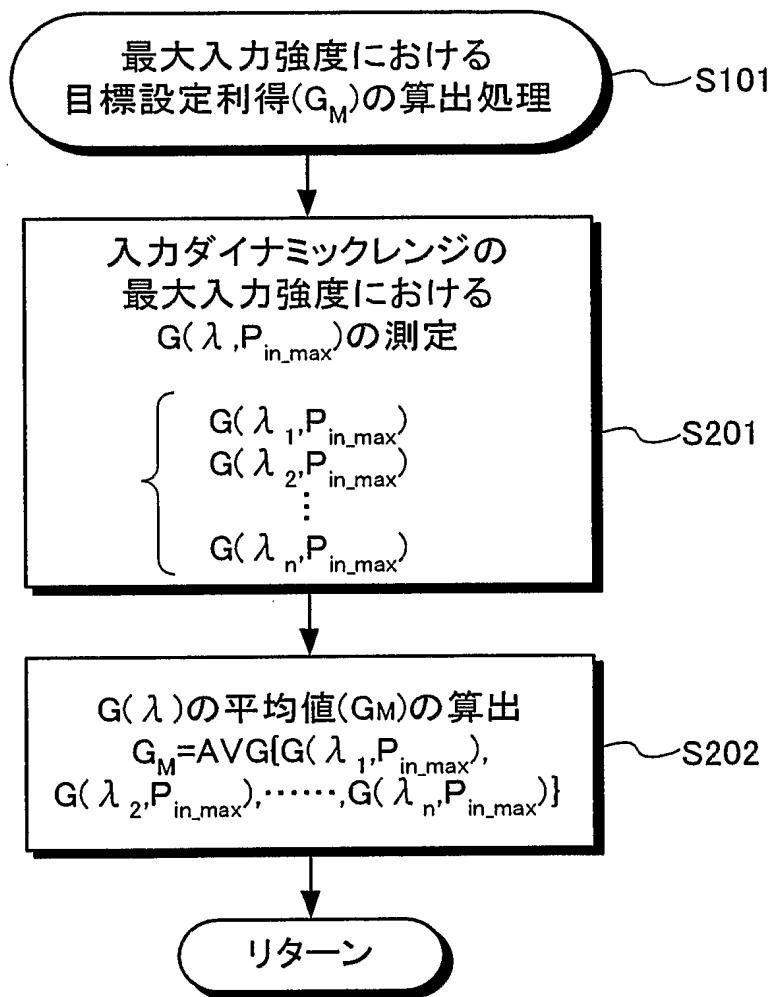
自身に入力される光入力の入力ダイナミックレンジ内の各入力強度における目標平均設定利得 $[G(P_{in})]$ を算出する第 2 の算出ステップと、
を含むことを特徴とする光増幅器の利得制御方法。



第2図

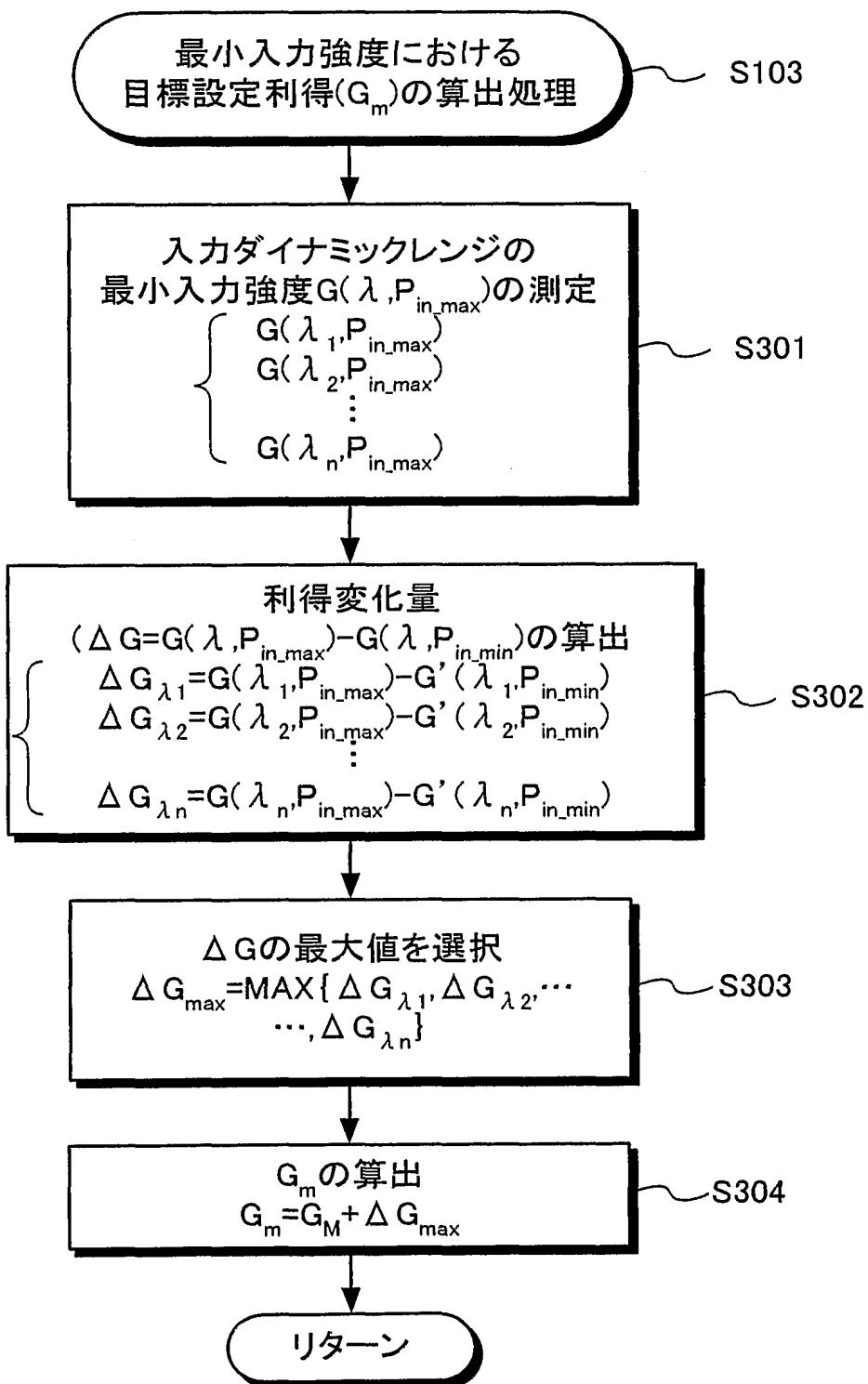


第3図

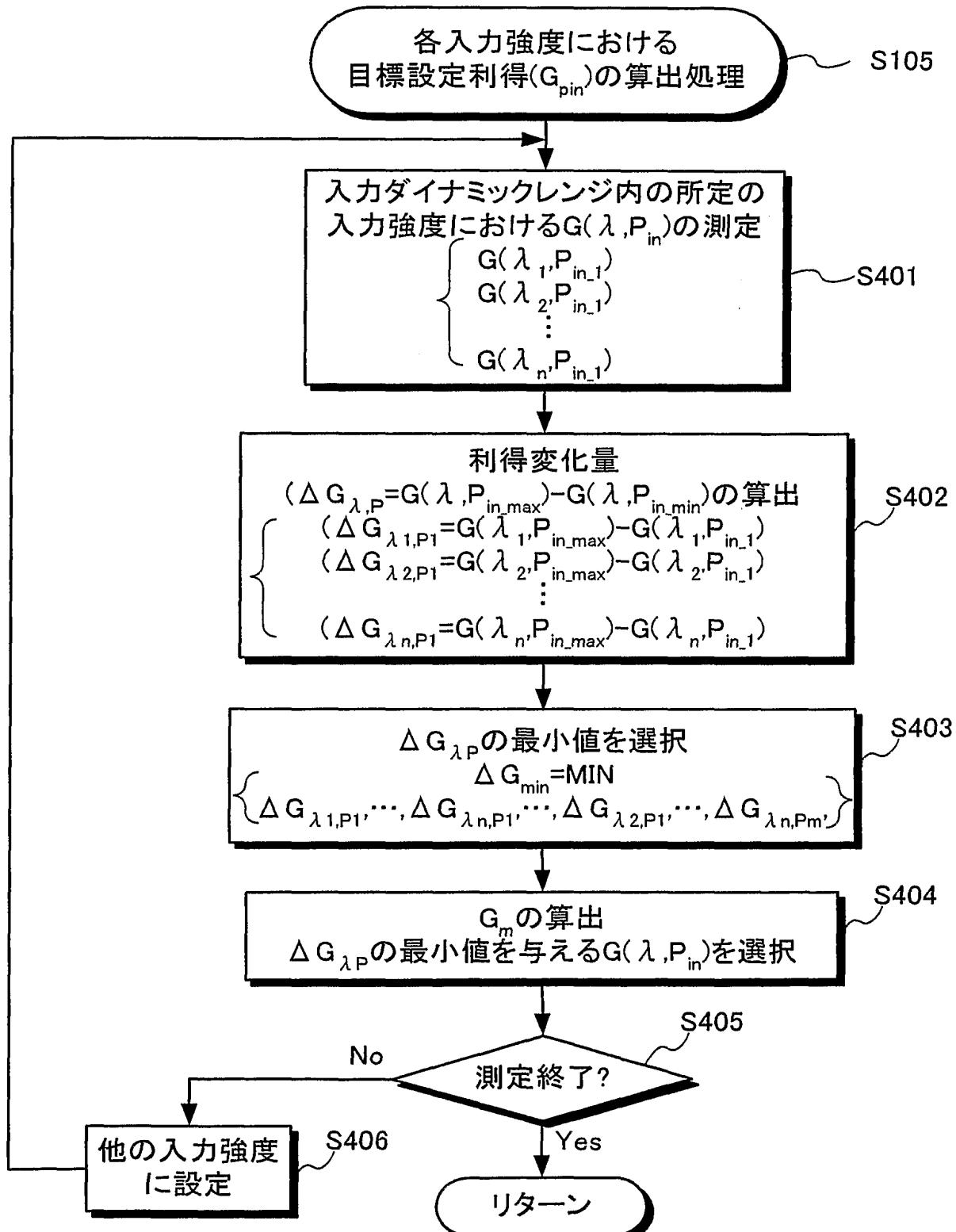


4/11

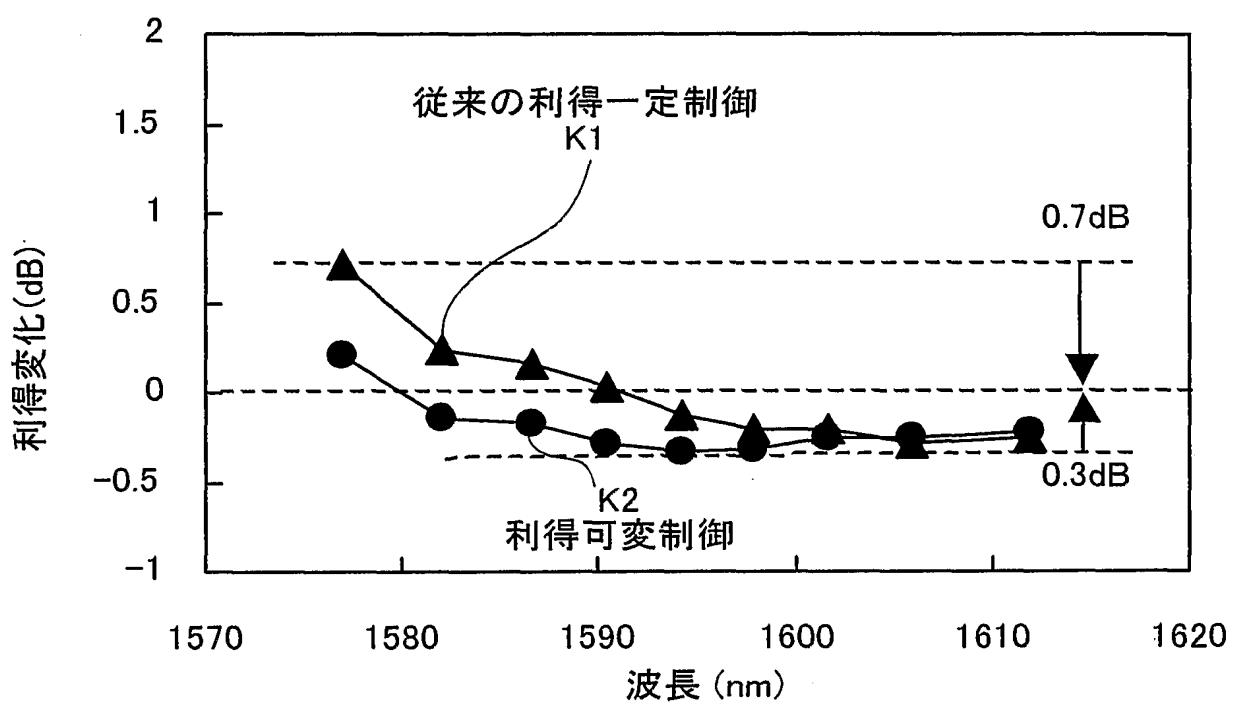
第4図

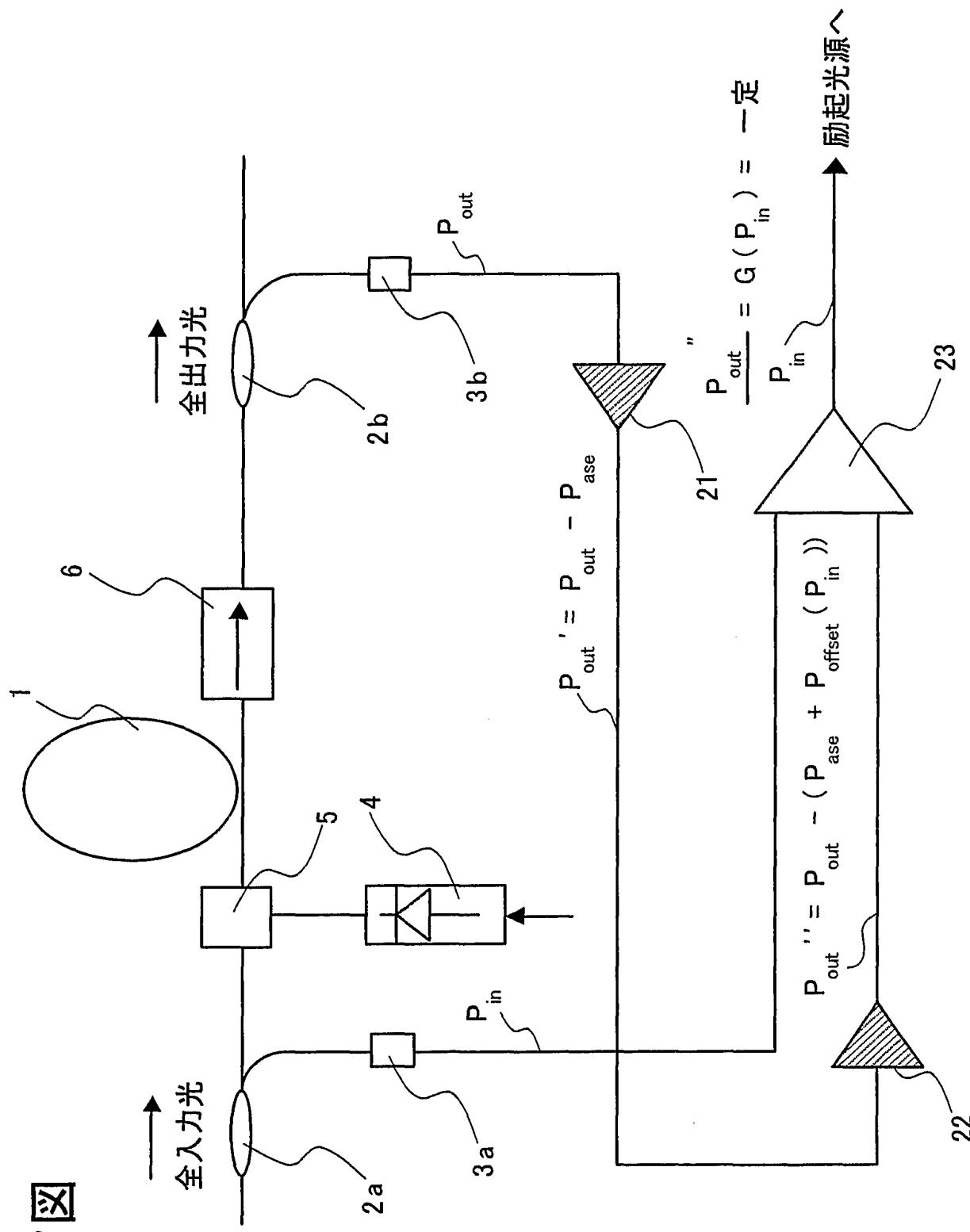


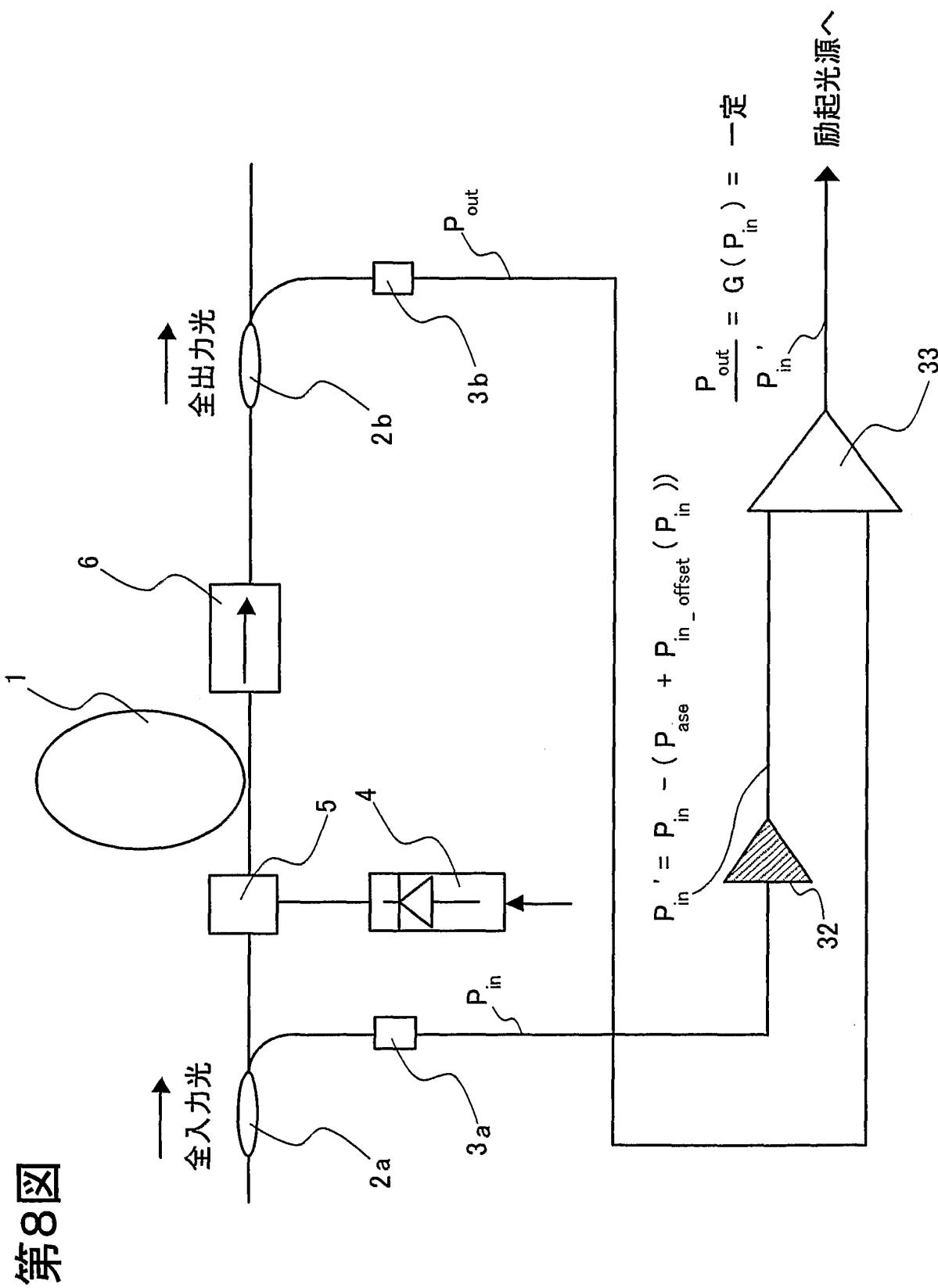
第5図



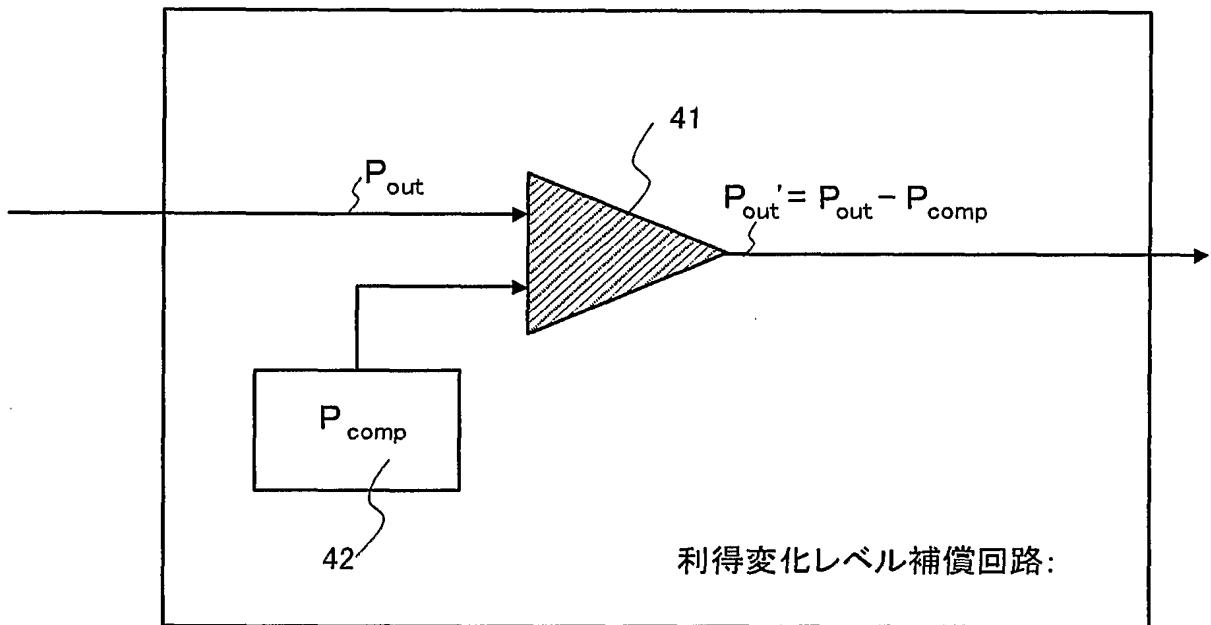
第6図



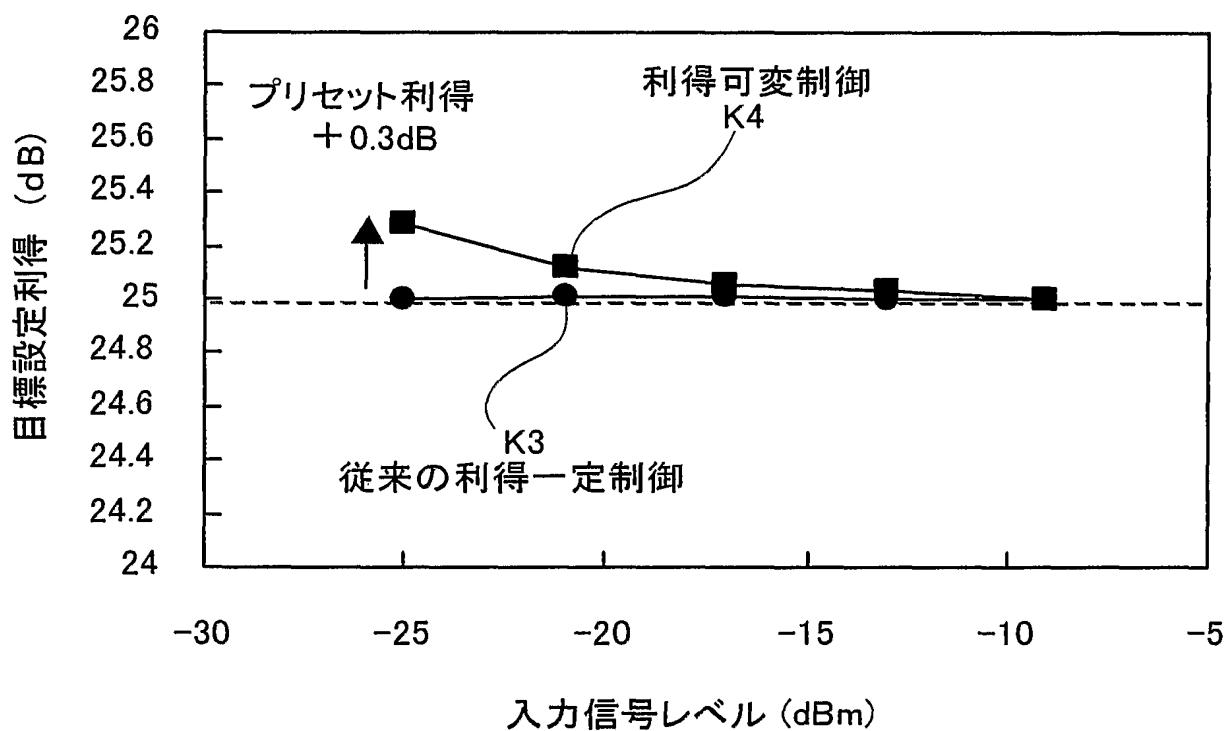


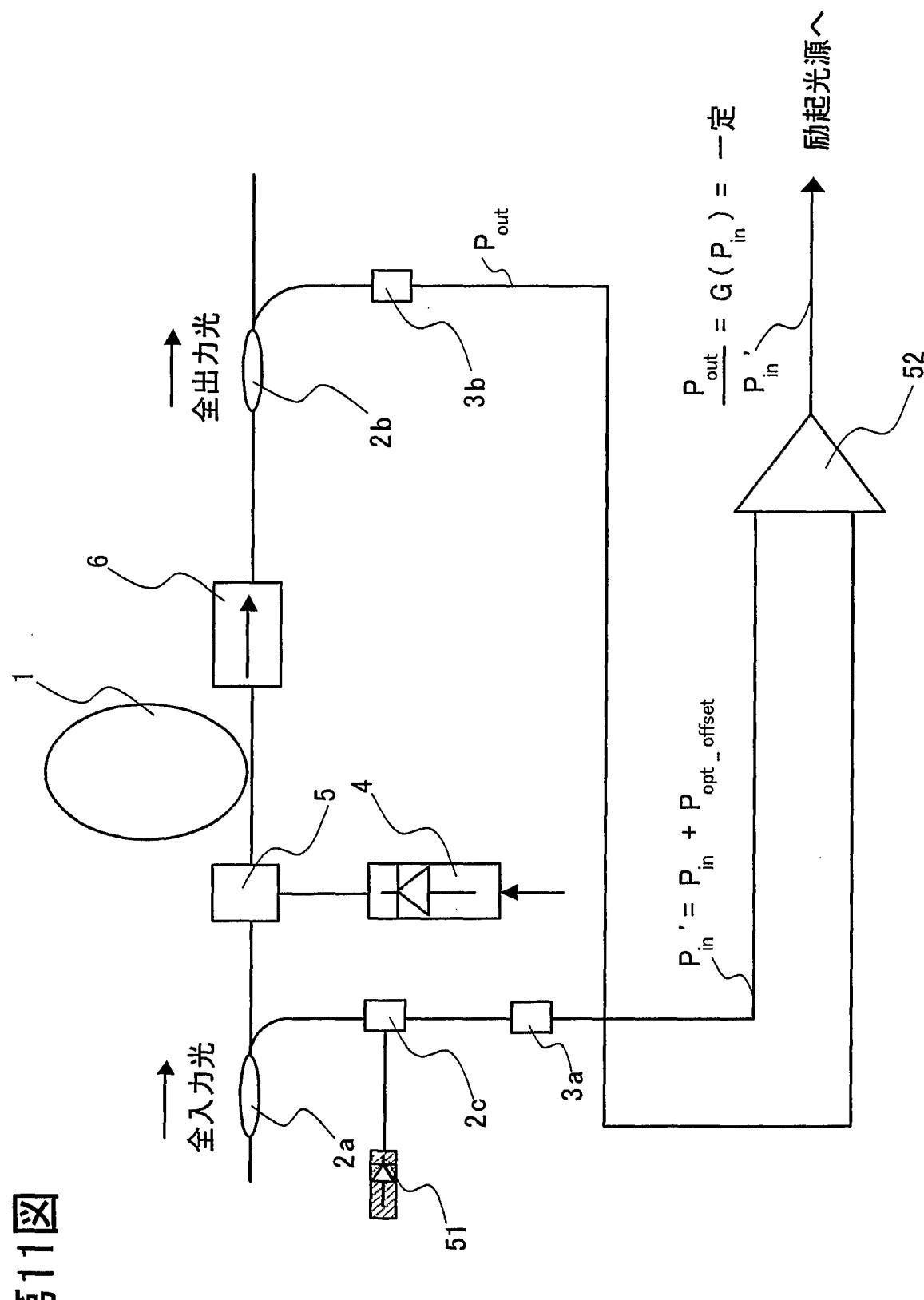


第9図



第10図





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S3/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01S3/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-112434 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 23 April, 1999 (23.04.99), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-12
A	JP 2000-68572 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 03 March, 2000 (03.03.00), Par. Nos. [0012] to [0028]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 August, 2004 (30.08.04)

Date of mailing of the international search report
14 September, 2004 (14.09.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007555

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-103861 A (Fujitsu Ltd.), 02 April, 2004 (02.04.04), Par. Nos. [0053] to [0062]; Fig. 10 & EP 1398894 A2 Par. Nos. [0061] to [0069]; Fig. 10 & US 2004/0057732 A1	1-12
E, A	JP 2004-186217 A (Mitsubishi Electric Corp.), 02 July, 2004 (02.07.04), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S 3/10

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S 3/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-112434 A (日本電信電話株式会社) 1999.04.23, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2000-68572 A (住友電気工業株式会社) 2000.03.03, 段落【0012】-【0028】(ファミリーなし)	1-12

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.08.2004

国際調査報告の発送日

14.9.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

2K 9017

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
A	JP 2004-103861 A (富士通株式会社) 2004.04.02, 段落【0053】-【0062】，第10図 &EP 1398894 A2, 段落【0061】-【0069】，第10図 &US 2004/0057732 A1	1-12
E, A	JP 2004-186217 A (三菱電機株式会社) 2004.07.02, 全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	1-12